Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich
Abteilung für Zahnerhaltungskunde
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

Experimentelle Untersuchungen über Eindringtiefe und Konzentration von Spülflüssigkeiten in Dentin und Wurzelkanal bei der heißen Kanalspülung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans-Peter Zimmerer
aus Wasseralfingen

1969

Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich
Abteilung für Zahnerhaltungskunde
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

Experimentelle Untersuchungen über Eindringtiefe und Konzentration von Spülflüssigkeiten in Dentin und Wurzelkanal bei der heißen Kanalspülung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans-Peter Zimmerer
aus Wasseralfingen

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Rost
2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG • Tübingen

Meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547603_0112

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

	Seite
I. Einleitung und Problemstellung	1 - 3
II. Frühere Untersuchungen und ihre Ergebnisse	4 - 7
III. Eigene Untersuchungen	8 - 44
A. Versuchsanordnung zum Nachweis einer Spülwirkung	8 - 10
B. Versuchsanordnung zum chemischen Nachweis von Desinfektionsmitteln im Wurzelkanal	10- 12
C. Versuchsanordnung zum radioaktiven Nachweis von Merfen(R) im Wurzelkanal	12- 44
1. Chemische Umwandlung des radioaktiven Materials	13 -16
2. Der Szintillationszähler	17 -18
3. Die Autoradiographie	19 -20
4. Versuche	21 -24
5. Ergebnisse des qualitativen Nachweises von Merfen(R)	25 -39
6. Ergebnisse des quantitativen Nachweises von Merfen(R)	40 -44
IV.Statistische Auswertung	45 -51
V.Diskussion der Ergebnisse	52 -57
VI.Zusammenfassung	58 -60
VII.Literaturverzeichnis	61 -62
VIII.Meßtabellen	63 -66

I. Einleitung und Problemstellung

Die konservierende Zahnheilkunde kennt mehrere Behandlungsmethoden der gangränösen Pulpa; sie reichen von der Medikamentenapplikation in den Wurzelkanal mit Watteträgern bis zum Versuch der systematischen Durchdringung von Dentin und Wurzelkanal mit Desinfektionslösungen bei der Ionophorese. Voraussetzung jeder medikamentösen Therapie sind die vorausgegangene Exstirpation der Pulpa und die mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals.

Das Ziel der in der einschlägigen Literatur angegebenen Methoden der Gangränbehandlung ist es, sowohl eine gute Reinigung des Kanals als auch eine Desinfektion der Kanalwände und des infizierten Wurzeldentins zu erreichen. Der periapikale Raum - in der Regel ebenfalls infiziert - sollte gleichfalls therapeutisch erfaßt werden. Diese Forderungen betrachtet F. PRADER bei der von ihm 1949 erstmals angegebenen heißen Kanalspülung als erfüllt.

Unter der heißen Kanalspülung versteht man eine Spülung des gangränösen, bereits mechanisch aufbereiteten Wurzelkanals mit ca. 80° C heißen Desinfektionslösungen. Diese werden mit einer Spülkanüle in den Wurzelkanal eingespritzt und über eine Saugkanüle wieder abgesaugt.

Durch diesen Spülkreislauf glaubt F. PRADER folgende Forderungen erfüllt zu haben:

1. eine bessere Entfernung des infizierten Materials aus dem Kanal,
2. eine gute Reinigung der Kanalwände,
3. eine Desinfektion der Kanalwände,
4. bei geeignetem Desinfektionsmittel eine Dentinsterilisation,
5. eine optimale Ausnutzung des Einlagemittels, das nach der Spülung appliziert wird,
6. einen Zeitgewinn durch Verkürzung der Behandlungsdauer.

Die Technik der heißen Kanalspülung ist relativ leicht. Der Zahn wird unter aseptischen Kautelen (Kofferdam) mit Wurzelkanalinstrumenten mechanisch aufbereitet. Dann werden 50 ml des erhitzten Desinfektionsmittels in den Wurzelkanal eingespritzt und gleichzeitig wieder abgesaugt. Die Spülkanüle ist mit einer Ganzglasspritze verbunden, die Saugkanüle mit einer Wasserstrahlpumpe (vgl. Abb. S. 8). Nach der Spülung wird ein Einlagemittel in den Wurzelkanal appliziert und die Trepanationsöffnung verschlossen.

F. PRADER faßt die Vorteile seiner Methode wie folgt zusammen: "Die auf chemisch-physikalischen Überlegungen beruhende Methode der heißen Wurzelkanalspülung erlaubt

einerseits eine schnellere Entfernung der putriden Reste sowie eine experimentell festgelegte, verkürzte Abtötungszeit der kanaleigenen Mikroorganismen, andererseits eine optimale Ausnutzung des Einlagemittels verbunden mit einem Zeitgewinn."

Die Voraussetzung für einen Erfolg dieser Methode ist, daß die Spülflüssigkeit bis zum Apex und darüber hinaus auch in die Dentinkanäle vor- und eindringt. Um die Desinfektion nach der Spülung aufrecht zu erhalten, d.h. um eine Reinfektion der durch die Spülflüssigkeit nicht erreichten Zonen zu verhindern, muß das Desinfektionsmittel auch noch nach der Spülung wirksam sein. Bei welcher Konzentration das der Fall ist, soll hier ebenso wie die Frage untersucht werden, welches Desinfektionsmittel sich dazu am besten eignet.

II. Frühere Untersuchungen und ihre Ergebnisse

In den Jahren 1940 - 1950 standen bakteriologisch-serologische Untersuchungen über die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln gegen Gangränbakterien im Vordergrund des Interesses.

F. PRADER (1947) prüfte verschiedene Spülflüssigkeiten (Desinfektionsmittel) in unterschiedlicher Konzentration bei wechselnden Temperaturen im Suspensionsversuch mit aus infizierten Wurzelkanälen isolierten Reinkulturen. Er stellte fest, daß bei steigender Temperatur und Konzentration der Lösungen die Abtötungszeiten wesentlich verkürzt wurden; sehr lang waren sie jedoch bei Fremdinfektionen - zum Beispiel durch M-Sporen (Mündelsporen des bakteriologischen Instituts der Universität Bern). Daraus leitete er die Forderung nach aseptischen Kautelen (Kofferdam) zur Verhinderung einer Sekundärinfektion bei der Wurzelbehandlung ab. Bei seinen Versuchen erwiesen sich Merfen(R) (Zyma-Blaes) und Desogen(R) als wirksamste Desinfektionsmittel.

Weiter befaßte sich F. PRADER (1946) mit den eben noch wirksamen Konzentrationen von Merfen(R) in einer Verdünnungsreihe; er stellte fest, die untere wirksame Verdünnungsgrenze des Mittels sei bis jetzt noch nicht festgelegt.

A. GRUMBACH (1941) bestätigte die ausgezeichnete Desinfektionswirkung von Desogen(R). L. CASTAGNOLA (1946) stellte eine "omnipotente Wirkung von Desogen(R) und Merfen(R) gegenüber geprüften Keimen" fest, wobei diese Mittel in einer Konzentration von 0,1 % verwendet wurden. Merfen(R) erwies sich als nicht geeignet für die Ionophorese, weil es nicht transportiert wurde.

O. MÜLLER (1942) nannte die Dentinsterilisation als Vorbedingung einer Wurzelkanalbehandlung, um eine Reinfektion des Kanals vom Dentin her zu verhindern. Er forderte: "Ein Desinfektionsmittel, oder das von ihm gebildete Gas, muß das Dentin durchdringen können, um als wirksam bezeichnet zu werden."

C. SHANN (1945) erprobte Merfen(R), Desogen(R) und Thyrvonin(R) in vitro, am Phantom und am Patienten. Bei Versuchen in vitro war Merfen(R) dem Desogen(R) bei Mischkulturen unterlegen. Der Autor beurteilte es weniger günstig als Desogen(R), weil die chemischen Eigenschaften von Merfen(R) nach seinen Angaben eine Einlage und die Ionophorese nicht zulassen.

Untersuchungen, die sich mit der Eindringtiefe von Desinfektionsmitteln in Dentin und Wurzelkanal befassen,

sind nicht häufig. E. POPPER (1965) wies die Wirkung der Kanalspülung im Experiment dadurch nach, daß er an extrahierten Zähnen ein "künstliches Granulom" befestigte, das aus Methylenblau-Kristallen bestand. Bei intermittierendem Spülen erreichte der Wasserstrom die Kristalle (Granulom), und die herausgesaugte Spülflüssigkeit hatte eine blaue Farbe. Bei kontinuierlichem Spülen konnte dieser Effekt nicht erreicht werden.

W. KETTERL, H. KIERSE und R. TISCHLER versuchten 1953 erstmals, die Eindringtiefe von Merfen(R) in Dentin und Wurzelkanal durch radioaktive Markierung festzustellen. Mit dem Geigerzähler kontrollierten sie die einzelnen Zonen des Zahnes, in die das Mittel eingedrungen war, in dem sie mit Rosenbohrern steigender Größe den Wurzelkanal erweiterten, den Bohrstaub auffingen und dessen Aktivität bestimmten. Darüber hinaus fertigten sie Autoradiogramme an, deren Auswertung aber nicht befriedigt.

E. DJERASSI und R. OWTSCHAROW (1967) führten radioaktiv markiertes Jod mit der Miller-Nadel in den Wurzelkanal eines Hundezahnes (Eckzahn) in vivo ein und verschlossen Apex und Kavität nach einer Wurzelspitzenamputation mit Silberamalgam, das für Jod undurchdringlich ist. Sie stellten fest, daß das Jod nach einigen Tagen in der Schilddrüse angereichert war.

Es mußte also eine Diffusion der Substanz durch die Dentin-Zement-Desmodont-Schranke stattgefunden haben. Dieses Experiment kann als Beweis dafür herangezogen werden, daß ein marktoter Zahn als Herd wirken kann, wenn der ganze Zahn nicht vor der Wurzelkanalfüllung desinfiziert und anschließend mit einer ausreichenden Füllung versorgt wurde.

III. Eigene Untersuchungen

Zu unseren Versuchen wurden frisch extrahierte einwurzelige Zähne herangezogen, die wir kurzfristig in 1 %igem Formalinspiritus aufbewahrten, um möglichst naturgetreue Arbeitsbedingungen zur Durchführung der Versuche zu erhalten.

A. Versuchsanordnung zum Nachweis einer Spülwirkung

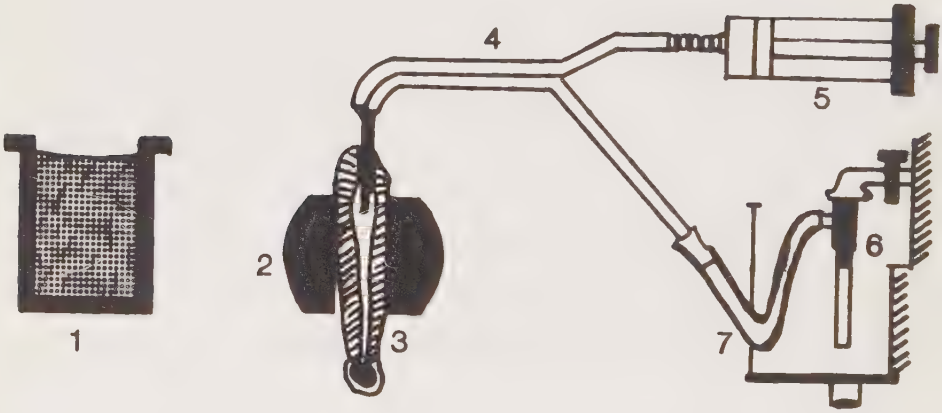


Abb. 1

Schema der Versuchsanordnung

1 Becherglas mit Spülflüssigkeit 2 Schraubstock

3 Zahn mit "Granulom" 4 Spül-Saug-Kanüle

5 Ganzglasspritze 6 Wasserstrahlpumpe

7 Verbindungsschlauch

Die bis Kerr 6 aufbereiteten Zähne wurden mit einem künstlichen "Granulom" versehen. Das Modell, ein in Zellophan gehüllter Wattebausch, wurde am Apex mit Klebstoff (Uhu) befestigt. Die Zähne wurden in einen Schraubstock gespannt und mit 50 ml stark verdünnter, wäßriger Fuchsinlösung (Konzentration: 1 Tropfen Fuchsin auf 10 ml Wasser) mit der "Spül-Saug-Kanüle" gespült.
Nach Trocknung der Zähne wurden mit der Mainzer Trennschleifmaschine Schliffe hergestellt, die dann ausgewertet wurden.

Ergebnisse

1. Die Farblösung drang in den Wurzelkanal ein und färbte dessen Wände rot.
2. Bei intermittierendem Spülen drang die Farblösung immer über den Apex hinaus und färbte das Modell an. Dieser Effekt konnte bei kontinuierlichem Spülen nicht in gleichem Maße erzielt werden.
3. Die Position des Zahnes bei der Durchführung der Spülung (Imitation des Ober- und Unterkiefers) spielte keine Rolle.
4. Unter dem Auflichtmikroskop konnte ein Eindringen der Farblösung in die Dentinkanälchen festgestellt werden.

Das Eindringen des Farbstoffes in den apikalen Raum und die Dentinkanälchen in vitro müßte auch in vivo nachgeprüft werden, um glaubwürdig zu erscheinen. Deshalb versuchten wir, ein Desinfektionsmittel im Wurzelkanal sichtbar zu machen (Merfen(R) und Desogen(R) sind farblos). Dies konnte mit einer chemischen Farbreaktion erreicht werden.

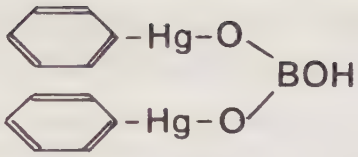
B. Versuchsanordnung zum chemischen Nachweis von Desinfektionsmitteln im Wurzelkanal

Aus der Vielzahl der in Frage kommenden Desinfektionsmittel wurden für die Versuche ebenfalls Merfen(R) und Desogen(R) ausgewählt, da deren ausgezeichnete bakterizide Eigenschaften in vielen Versuchen bereits nachgewiesen wurden (vgl. Kap. II).

Desogen(R), ein quarternäres Ammoniumsalz, konnte durch eine einfache chemische Farbreaktion nicht nachgewiesen werden und schied daher für die Versuche aus.

Merfen(R)

Formel:



Chemisch handelt es sich um Phenylquecksilberborat. Durch starke Dissoziation in Wasser wirkt es außerordentlich bakteriostatisch: Das Quecksilberbleibt an die positiv geladene Phenylgruppe gebunden und führt als positiv geladenes Phenylquecksilberradikal zur Bindung mit den negativ geladenen Bakterien.

Nachweisreaktionen x)

Zum Nachweis von Quecksilber wurde Curcumin in 1 %igem Äthylakohol gelöst. Die Lösung wurde mit Salzsäure angesäuert, mit Merfen(R) versetzt und erhitzt. Nach Trocknung ergab sich eine Rotbraunfärbung. Da dieser Nachweis jedoch noch nicht Hg-spezifisch ist, wurde zur rotbraunen Phase nochThioacetamid in wäßriger Lösung beigegeben. Nach erneuter Trocknung entstand eine Schwarzfärbung und damit der spezifische Nachweis von Quecksilber. Gelänge es, diese Farbreaktionen auch am mit Merfen(R) gespülten Zahn durchzuführen, so könnte gezeigt werden, wie weit das Desinfiziens in den Zahn eindringt.

x) von Herrn Dozent Dr. MÖHRLE, Pharm.-chem. Institut

Versuch

Die Zähne wurden wie beim ersten Spülversuch aufbereitet, gespült und geschliffen. Dann wurden die eben beschriebenen Reaktionen auf den Schliffen unter vorsichtiger Erwärmung durchgeführt.

Die Versuche verliefen ergebnislos, denn

1. wurde der Zahn auch bei vorsichtigster Wärmebehandlung braun und
2. dürfte die Konzentration des Merfen$^{(R)}$ für den chemischen Nachweis zu klein gewesen sein, was die weiteren Versuche bestätigten.

C. Versuchsanordnung zum radioaktiven Nachweis von Merfen$^{(R)}$ im Wurzelkanal

Nachdem der chemische Nachweis erfolglos verlief, wurde versucht, das Desinfektionsmittel durch radioaktive Markierung sichtbar zu machen. Dies gelang erstmals W. KETTERL et al. (1953) mit radioaktiv markiertem Merfen$^{(R)}$.

Für unsere Versuche wurde ebenfalls radioaktiv markiertes Merfen$^{(R)}$ verwendet. Da es im Handel nicht erhältlich ist, wurde es unter Anleitung von Herrn Diplomchemiker Dr.med. GRIMMINGER aus radioaktiv markiertem ^{203}Hg-phenyl-acetat

(Fa. Buchler & Co., Braunschweig) durch chemische Umwandlung selbst hergestellt. Es standen 260 mg ^{203}Hg-phenyl-acetat zur Verfügung; das entsprach einer Aktivität von 4,1 mc.

1. Chemische Umwandlung des radioaktiven Materials

UMSETZUNGSREAKTIONEN

I.

$C_6H_5-^{203}Hg-OOC-CH_3$ + NaOH ⟶

260 mg + 31 mg ⟶

Hg-phenyl-acetat + Natronlauge ⟶

⟶ $C_6H_5-^{203}HgOH$ + $NaOOC-CH_3$

⟶ 228 mg + 63 mg

⟶ Hg-phenyl-hydroxid + Natriumacetat

II.

2 $C_6H_5-^{203}Hg-OH$ + H_3BO_3 ⟶

228 mg + 24 mg ⟶

Hg-phenyl-hydroxid + Borsäure ⟶

⟶ 2 $(C_6H_5-^{203}Hg)-HBO_3$ + 2 H_2O

⟶ 238 mg + 14 mg

⟶ Hg-phenyl-borat + Wasser

Zur chemischen Umwandlung wurden zwei Methoden erarbeitet:

1. Methode [x]

(vergl. Reaktionsgleichungen)

Die wässrige Lösung von Hg-phenyl-acetat wurde im Schütteltrichter mit Benzol emulgiert, im stöchiometrischen Verhältnis mit Natronlauge versetzt und eine Minute geschüttelt. Dann ließ man die Emulsion absitzen. Es bildeten sich zwei Flüssigkeitsschichten aus. Die untere (Wasser-) Schicht enthielt das wasserlösliche Natriumacetat, die obere (Benzol-) Schicht das bei der Reaktion entstandene Quecksilberphenylhydroxid. Die Wasserschicht wurde abgelassen und so das Natriumacetat eliminiert.

Die Benzolschicht kam in einen Erlenmeyerkolben und wurde mit getrocknetem Natriumsulfat versetzt, so daß das in der Benzolschicht noch zurückgebliebene Wasser vollends entfernt wurde. Das Natriumsulfat wurde wieder abfiltriert.

Die Benzolemulsion wurde jetzt im stöchiometrischen Verhältnis mit Borsäure versetzt und das Benzol im Exsikkator abgedampft. Zurück blieb das Quecksilberphenylborat (Merfen). Es wurde zu einer 0,1%igen Lösung mit Wasser verdünnt.

Wir erprobten diese Methode mit nicht radioaktiv markiertem Quecksilberphenylacetat und wiesen die bei den Reaktionen auftretenden Produkte chemisch nach.

[x] von Herrn Dozent Dr. MÖHRLE, Pharm.-chem. Institut

Aus Gründen des Strahlenschutzes kam aber diese Methode nicht in Frage; denn es stand zu befürchten, daß beim Ausschütteln in einem Schütteltrichter unübersichtliche Druckverhältnisse auftreten und durch ein Leck oder durch ein explosionsartiges Versprühen erhebliche Radioaktivitätsmengen unkontrollierbar entweichen könnten.

2. Methode x)

Queckesilberphenylacetat wurde in stöchiometrischem Verhältnis in Natronlauge suspendiert und im Wasserbad so lange erhitzt, bis eine klare Lösung entstand. Beim Abkühlen fiel Quecksilberphenylhydroxid aus. Dieses wurde abzentrifugiert und zweimal mit Wasser gewaschen. Dann wurde es mit Borsäure versetzt und gelöst. Das entstandene Merfen$^{(R)}$ wurde zu einer 0,1%igen Lösung verdünnt.

Diese Methode wurde ebenfalls erprobt und für die Umwandlung von radioaktivem Quecksilberphenylacetat in Merfen$^{(R)}$ verwendet; denn mit ihr ließ es sich einfach und sauber arbeiten. Die Ausbeute konnte nicht gravimetrisch bestimmt werden, sondern nur rechnerisch auf 238 mg geschätzt werden.

Diese 238 mg Substanz enthielten 4100 mc. Das entspricht 9×10^9 Zerfällen pro Minute und einer spezifischen Radioaktivität von 17,2 mc/mg. Da es unzweckmäßig war, mit

x) von Herrn Dr. GRIMMINGER und der Fa. Zyma-Blaes AG

einer so hohen Radioaktivitätsmenge und Merfen(R)-Konzentration zu arbeiten, wurde die Substanz weiterverdünnt.

Für die Versuche wurde eine 0,1%ige nichtradioaktive Merfen(R)-Stammlösung verwendet; in 1 ml dieser Lösung war also 1 mg Merfen(R) gelöst.

Das radioaktive Merfen(R) wurde mit Wasser so weiterverdünnt, daß in 1 ml der Lösung 0,5 mg radioaktives Merfen(R) gelöst waren; das entsprach einer Aktivität von 8 - 9 mc/ml. x)
Die radioaktive Merfen(R)-Lösung wurde mit der nichtradioaktiven Stammlösung in folgendem Verhältnis gemischt:

49 ml nichtradioaktive 0,1%ige Merfen(R)-Stammlösung
+ 1 ml radioaktive 0,05%ige ^{203}Hg-Merfen(R)-Lösung
= 50 ml Spülflüssigkeit (Sp.I).

Zwanzig Zähne wurden mit je 50 ml Spülflüssigkeit dieser Zusammensetzung gespült, die im folgenden als Sp.I bezeichnet wird. Wie ersichtlich ist, fehlen in dieser Lösung 0,5 mg Merfen auf 50 ml, um eine exakt 0,1%ige Lösung zu ergeben. Dieser Fehlbetrag ist aber so gering, daß er nicht ins Gewicht fällt.

Zehn Zähne wurden - um einen Vergleich zu erhalten - mit 50 ml Lösung folgender Zusammensetzung gespült:

49 ml nichtradioaktives Borwasser
+ 1 ml radioaktive 0,05%ige ^{203}Hg-Merfen(R)-Lösung
= 50 ml Spülflüssigkeit (Sp. II).

x) Die radioaktive Merfen(R)-Lösung war also 0,05%ig!

Diese Lösung wird im folgenden als Sp.II bezeichnet.

2. Der Szintillationszähler

Die Radioaktivitätsmessungen für den quantitativen Nachweis von Merfen$^{(R)}$ wurden mit einem Szintillationszähler (von Friesche & Köpfner, FH 49 B) durchgeführt.

Der verwendete 18-mm-Bohrlochkristall (FH 421 Z/S) hat eine hohe Nachweisempfindlichkeit für die mittelharte Gammastrahlung des ^{203}Hg (0,28 qMeV), während die weiche Röntgenstrahlung, die aus der Beta-Emission resultiert, von der gewählten Gerätekombination nicht registriert wird. Da ^{203}Hg eine mittellange Halbwertszeit von 47 Tagen besitzt, ließ sich mit diesem Quecksilberisotop wesentlich bequemer arbeiten als mit dem kurzlebigen Isotop ^{197}Hg mit einer Halbwertszeit von 2,7 Tagen.

Der Szintillationszähler arbeitet nach folgendem Prinzip: Die Energie der auf den Zähler fallenden Strahlung wird absorbiert und im Leuchtstoff in Lumineszensstrahlung umgewandelt (vgl. Abb. 2). Die auffallende radioaktive Strahlung bewirkt eine Anregung der Leuchtstoffmoleküle. Dieser Anregungszustand ist aber metastabil, das heißt, die Rückkehr der auf ein höheres Energieniveau gebrachten Elektronen in den Grundzustand erfolgt verzögert, und zwar unter Aussendung von Licht.

Abb. 2

Schema eines Szintillationszählers

1 Leuchtstoff 2 Photokathode

3 Sekundärelektronenvervielfacher

Die Lumineszenzstrahlung trifft auf die Photokathode. Es werden Photoelektronen durch photoelektrischen Effekt erzeugt, deren Zahl im Photoelektronenvervielfacher um das 10^6fache vergrößert wird.

Zur Unterdrückung unerwünschter Impulse und zur Unterscheidung verschiedener Strahlenarten wird ein Diskriminator verwendet. Durch ihn wird eine bessere Ausbeute erzielt. Er wird zwischen Sekundärelektronenvervielfacher und einen Nachverstärker geschaltet. Bei den durchgeführten Messungen wurde bei einer Diskriminatorspannung von 30 Volt und einer Nachverstärkung um das 32fache die beste Ausbeute erzielt.

Der Nulleffekt des Zählers betrug konstant 40 - 60 Impulse pro Minute und konnte bei den Messungen vernachlässigt werden.

3. Die Autoradiographie

Zur bildlichen Darstellung der Eindringtiefe von Merfen(R) diente die Autoradiographie. Diese Methode zum Nachweis radioaktiver Nuklide beruht auf der Eigenschaft von Photonen und energiereicher Korpuskulärstrahlung, photographische Platten zu schwärzen.

Es gibt verschiedene Methoden, ein Autoradiogramm herzustellen. Die übliche Strippingfilm-Methode setzt eine Schnittdicke der histologischen Präparate im u-Bereich voraus. Diese Schnittdicke konnte nicht erreicht werden, weil auf die Mainzer Trennschleifmaschine verzichtet wurde (diese Maschine arbeitet mit Wasserkühlung, und daher sind unkontrollierbare Radioaktivitätsverluste durch Auswaschung der Präparate sowie eine Verteilungsänderung der radioaktiven Substanz auf den Schliffen durch Verwaschung zu erwarten).

Die Zähne wurden mit einer normalen Trennscheibe geschnitten. Die 2 - 3 mm dicken Schnitte wurden auf einen Röntgenfilm aufgeklebt (Tesafilm) und 48 Stunden lang zur Belichtung in eine Röntgenfilmkassette eingelegt. (Kontaktmethode der Autoradiographie). Bei dieser Belichtungszeit wurden die besten Autoradiogramme gewonnen.

Anschließend wurden die Schliffe wieder vom Röntgenfilm abgenommen und die Filme entwickelt. Die Autoradiogramme und die Schliffe wurden zusammen photographiert. Die Zuordnung von Autoradiogramm und Schliff erfolgte durch Vergleich.

Der Nachteil der angewandten Methode war die Unschärfe der Autoradiogramme (vgl. Kap. III, 5). Aus dem gleichen Grund liessen sich die Autoradiogramme nicht quantitativ, sondern nur qualitativ auswerten.

4. Versuche

Nach der Herstellung der Spülflüssigkeiten wurde der Standard der Lösungen bestimmt, das heißt, es wurde die Aktivität (Impulse pro Minute) gemessen, die in den 50 ml Lösung enthalten war, mit denen ein Zahn gespült wurde. Die Zähne wurden nun mit Wurzelkanalinstrumenten bis Kerr 6 aufbereitet, in einen Schraubstock gespannt und mit Kofferdam umgeben (vgl. Abb. 3). Der Kofferdam diente dazu, eine radioaktive Verseuchung der Umgebung zu verhindern.

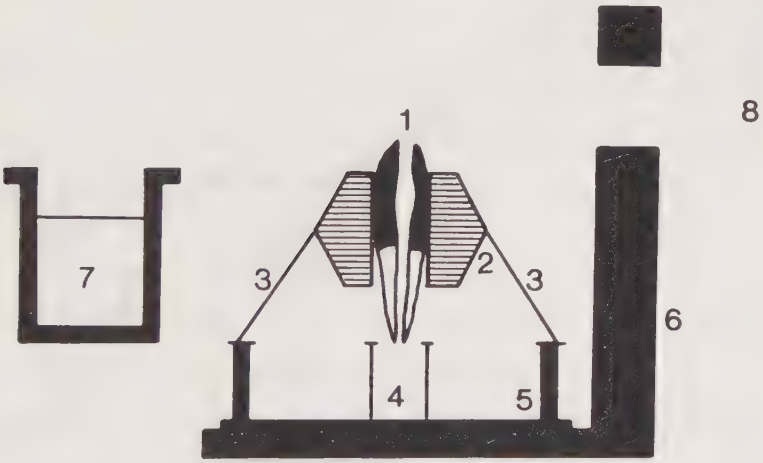


Abb. 3

Schema der Versuchsanordnung (Teil I)

1 Aufbereiteter Zahn 2 Schraubstock
3 Kofferdam 4 Becherglas 5 Große Wanne
6 Bleimauer 7 Becherglas mit Spüllösung
8 Hier wurde die Spül-Saug-Kanüle durch die Mauer geführt und in den Zahn eingebracht.

Die Spülkanüle wurde nun auf eine Ganzglasspritze aufgesetzt und die Saugkanüle über ein Überlaufgefäß mit einer Wasserstrahlpumpe verbunden. Das Überlaufgefäß diente zum Auffangen der radioaktiven Lösung nach dem Spülvorgang.

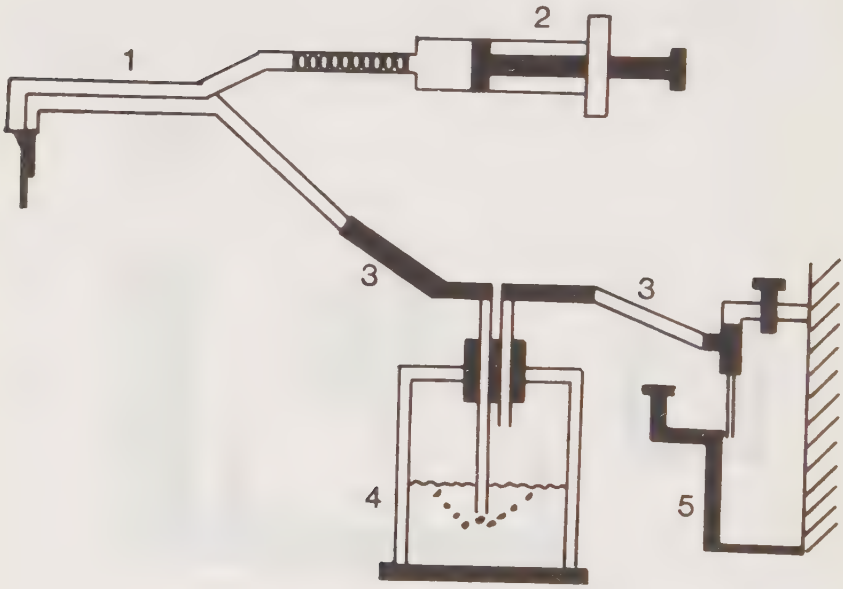


Abb. 4

Schema der Versuchsanordnung (Teil II)

1 Spül-Saug-Kanüle
2 Ganzglasspritze
3 Verbindungsschläuche
4 Überlaufgefäß
5 Wasserstrahlpumpe

Jeder Zahn wurde nun mit 50 ml Lösung intermittierend gespült. Wegen der bei einer Erwärmung zu erwartenden radioaktiven Quecksilberdämpfe wurde auf das Erhitzen der Spülflüssigkeit verzichtet.

Nach der Spülung wurde die äußere Oberfläche des Zahnes mit nichtradioaktiver Merfen$^{(R)}$-Lösung gesäubert, um radioaktive Reste, die vielleicht bei der Spülung des Zahnes von außen her die äußere Oberfläche verunreinigt hatten, zu entfernen.

Dann wurde der Zahn getrocknet und in glasklaren Kunststoff (Kulzer & Co) eingebettet. Der Kunststoff diente lediglich zur besseren Fixierung des Zahnes beim Schneiden. Dann wurden mit der Trennscheibe Schliffe angefertigt (vgl. S. 19).

Die Schnitte kamen nun in den Szintillationszähler und wurden auf ihren Radioaktivitätsgehalt überprüft. Die Aktivitätsmessungen beruhten auf folgenden Überlegungen:

Ein radioaktiver Stoff ist dadurch charakterisiert, daß er in der Zeiteinheit (z.B. pro Minute) eine bestimmte Zahl von Zerfällen aufweist. Die Zahl der Zerfälle - als Maß der Stärke einer Strahlung - wird in einem Zählrohr als Impulse in der Zeiteinheit registriert. Bei bekanntem Trägergehalt (Kehrwert der spezifischen Radioaktivität) eines Stoffes läßt sich aus der gemessenen Aktivität das Gewicht berechnen.

In praxi genügt es, die Radioaktivität des Zahnes und die der Spülflüssigkeit zu messen. Die Radioaktivität des Zahnes wird in Prozenten der Radioaktivität der Spülflüssigkeit angegeben. Durch Multiplikation dieses Prozentsatzes mit der eingesetzten Merfen(R)-Menge ergibt sich die im Zahn verbliebene absolute Merfen(R)-Menge. Das bedeutet also, daß die im Zahn gemessene Impulsrate ein direktes Maß für die Adsorption des Stoffes und damit für die Merfen(R)-Konzentration im Zahn darstellt.

Nach der Messung im Zähler wurden die Schnitte auf hochempfindlichen Röntgenfilmen mit Klebestreifen fixiert. Aus der Schwärzung der Filme konnte man dann ersehen, wie weit die radioaktive Substanz in Dentin und Wurzelkanal eindrang (Autoradiogramme vgl. Kap. III, 5).

5. Die Ergebnisse des qualitativen Nachweises von Merfen(R)

Die folgenden Seiten zeigen einige Autoradiogramme mit den dazugehörenden Schliffen. Die Schliffe wurden zusammen mit den Autoradiogrammen auf Kleinbildfilm (24 x 1/2 mm) photographiert und auf das Format 9 x 13 vergrößert (Endvergrößerung ca. 1,5fach). Die Bilder zeigen die Schliffe mit dem sie umgebenden Kunststoffmantel.

Aus der großen Anzahl der Autoradiogramme wurden von sieben Zähnen Bilder zur Darstellung ausgewählt. Die Reihenfolge entspricht nicht der im Kapitel III, 6 angegebenen.

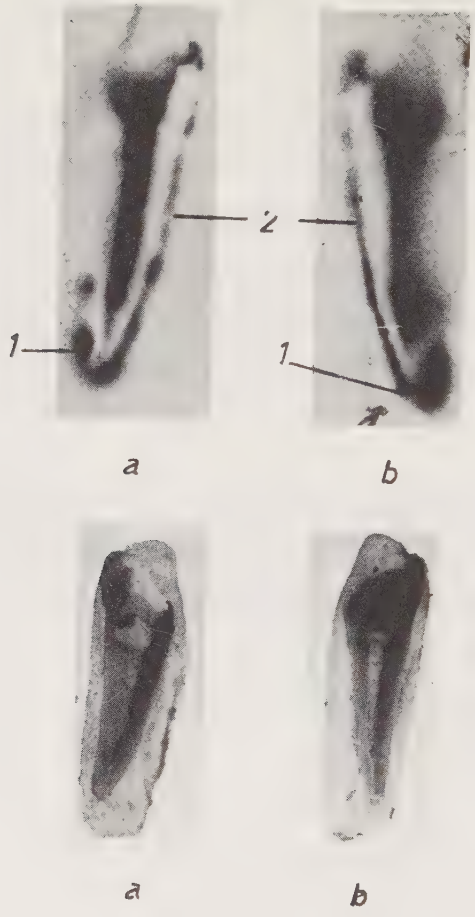


Abb. 5

Oberer Eckzahn im Längsschnitt. Präparate mit den dazugehörenden Autoradiogrammen (vgl. Text).

Die Abbildung zeigt in der oberen Reihe die Autoradiogramme, in der unteren die in Kunststoff eingebetteten Präparate. Die Autoradiogramme sind wie folgt zu deuten:

Pulpenkavum, Teile des Wurzeldentins und Wurzelkanal sind mit radioaktivem Material durchdrungen. Am Rande des scharf begrenzten Schattens des Wurzelkanals ist Sekundärstrahlung zu erkennen, die sich als diffuse Verschattung manifestiert. Der apikale Bereich ist bei b gut getroffen und von radioaktiver Substanz völlig durchdrungen. Bei 1 wurden Seitenkanäle angeschnitten, durch die Merfen(R) bis zur Dentin-Zement-Grenze vorgedrungen ist.

Aus phototechnischen Gründen stimmen in dieser Abbildung die Vergrößerungsfaktoren von Autoradiogramm und Photographie der Schliffe nicht überein.

Die Frage, ob bei 2 Merfen(R) aus dem Wurzelkanal bis in den Zementbereich vorgedrungen ist, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Eine Querdiffusion erscheint zweifelhaft, weil die Bilder zwischen Wurzelkanal und Zement eine Strecke zeigen, die dem Wurzeldentin entspricht und frei von Radioaktivität ist. Dagegen nimmt die Radioaktivitätskonzentration am Zementmantel von apikal nach koronal fortlaufend ab. Es erscheint plausibel, daß

während des Spülprozesses Spülflüssigkeit durch Kapillarwirkung an der "rauhen" Zementoberfläche hochgestiegen ist. Dabei wurde radioaktives Merfen(R) der Lösung an den Zement adsorbiert. Diese Adsorption war offenbar so stark, daß sich die Radioaktivität entgegen der ursprünglichen Annahme durch kurzes Eintauchen des Zahnes in nichtradioaktive Merfen(R)-Lösung nicht hinreichend eluieren ließ. Auch bleibt die Frage offen, ob sich beim Schneiden des trockenen Zahnes ein elektrostatisches Potential zwischen Zement und Kunststoffmantel bildet, wodurch entgegengesetzt geladene Staubpartikelchen in den Spalt eindringen konnten.

Wie bei allen autoradiographischen Untersuchungen besteht auch noch der Verdacht einer artifiziellen Schwärzung durch mechanischen Druck der Schnittkante. In Kontrollexperimenten mit nicht radioaktiven Schliffen konnten jedoch keine Artefakte dieser Intensität und Schärfe nachgewiesen werden.

Dieser "Randschatten" konnte auch bei den folgenden Autoradiogrammen beobachtet werden.

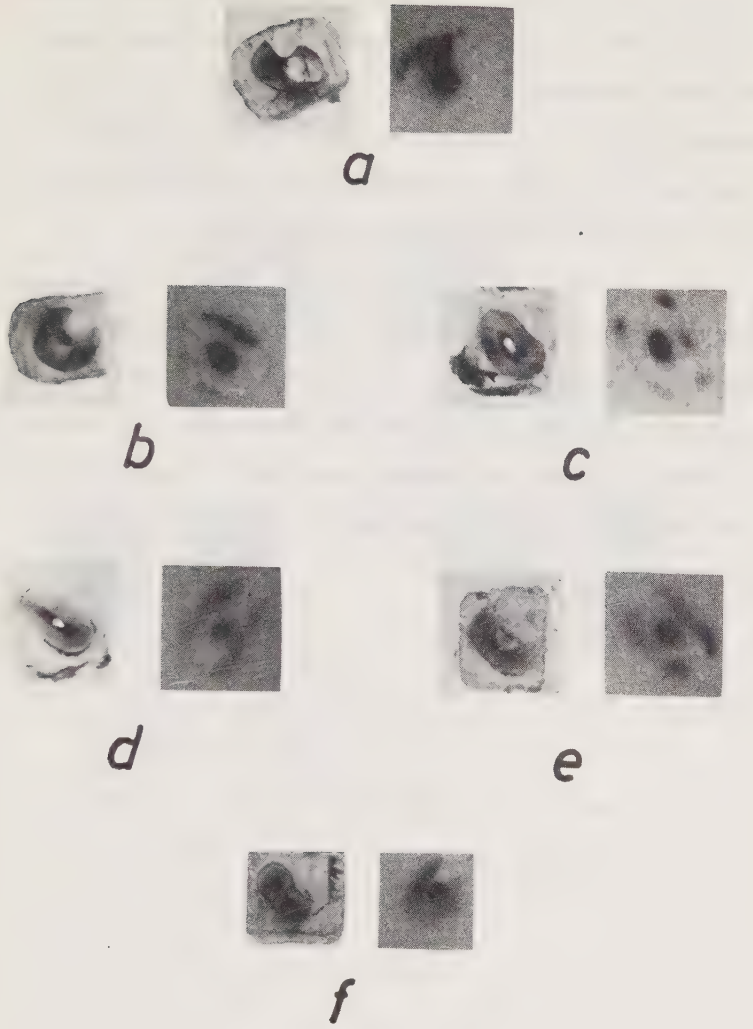


Abb. 6

Unterer Schneidezahn im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal (vgl. Text, S. 30).

Die Abbildungen 6 a - f zeigen Querschnitte eines unteren Schneidezahnes. Im Bereich des Wurzelkanals sind scharf begrenzte Schatten zu sehen. Diese reichen bei den Aufnahmen b, d, e, f auch in das Wurzeldentin. Bei a ist eine Kavität im Schnitt getroffen, die von der radioaktiven Substanz ebenfalls durchdrungen ist.

Das Auftreten von radioaktivem Material im Zementmantel als Randschatten wurde schon bei Abb. 5 erläutert. Zusammenfassend kann man sagen: Das Merfen(R) ist im Wurzelkanal bis zum Apex vorgedrungen und hat auch die inneren Randzonen des Wurzeldentins erreicht.

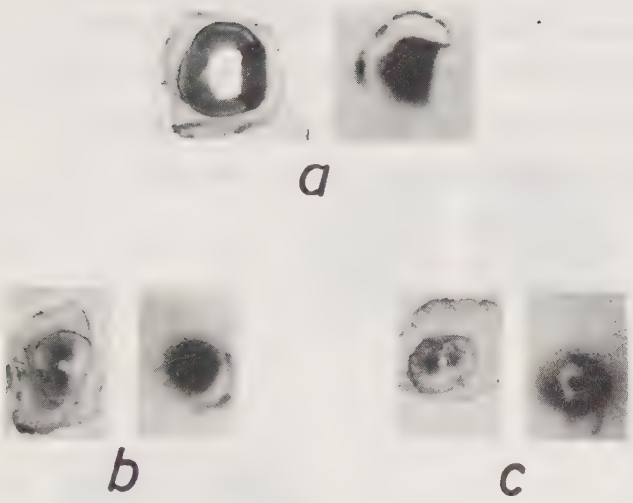


Abb. 7

Oberer Eckzahn im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal (vgl. Text, S. 32).

Die Abbildung 7 läßt scharf begrenzte Schatten erkennen. Dieser Schatten reicht bei b tief in das Wurzeldentin, während bei a - diese Aufnahme zeigt einen Schnitt durch die Kavität - das Dentin nur wenig mit radioaktiver Substanz beschickt wurde. Bei c dürfte eine Diffusion zur Dentin-Zement-Grenze stattgefunden haben, denn dieser starke Randschatten kann nicht sekundär bedingt sein (vgl. Abb. 5). Die Randschatten bei a und b sind wieder wie bei Abb. 5 zu erklären.

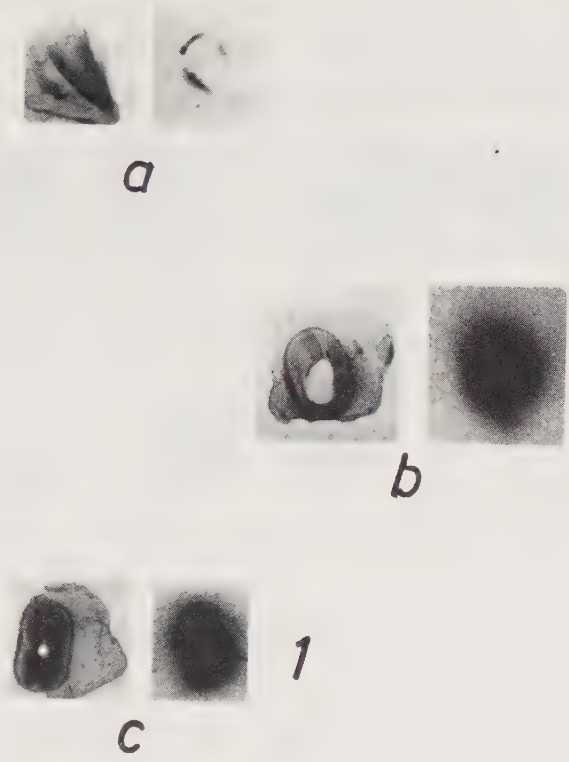


Abb. 8

Oberer Schneidezahn im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal (vgl. Text, S. 34).

Die Aufnahme 8 a zeigt die Schneidekante im Querschnitt. Die Aufnahme 8 b ist wegen starker Überstrahlung nicht auswertbar. Sie wird als Beispiel für die vielen Bilder gezeigt, die nicht befriedigen und deshalb in dieser Arbeit nicht zur Darstellung kommen. Bei 8 c ist deutlich eine Diffusion zu erkennen. Der Schliff ist bis zur Dentin-Zement-Grenze mit Merfen(R) durchdrungen. In der Mitte ist um den Wurzelkanal herum eine leichte unerklärliche Verschattung. Bei 1 dürfte ein Markkanal getroffen sein. Am Rande der scharfen Schatten ist wieder Sekundärstrahlung zu beobachten.

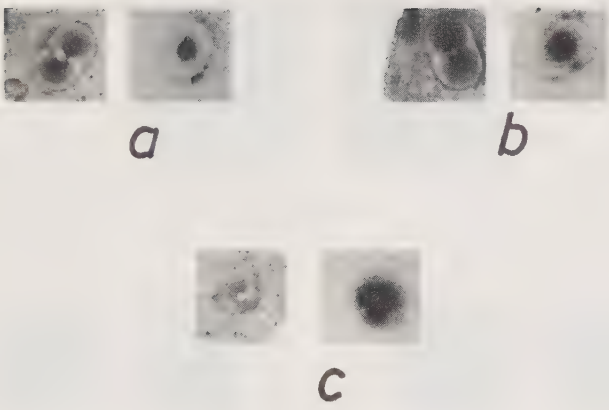


Abb. 9

Unterer Prämolar im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal (vgl. Text, S.36).

Bei Aufnahme 9 c erreichte die radioaktive Substanz die Dentin-Zement-Grenze vom Wurzelkanal aus. Wahrscheinlich ist auch hier ein Seitenkanal getroffen. Die Randschatten der einzelnen Bilder sind wieder wie bei Abb. 5 zu erklären. Die Abbildungen 9 a und b zeigen scharf begrenzte Aufhellungen im Bereich des Wurzeldentins.

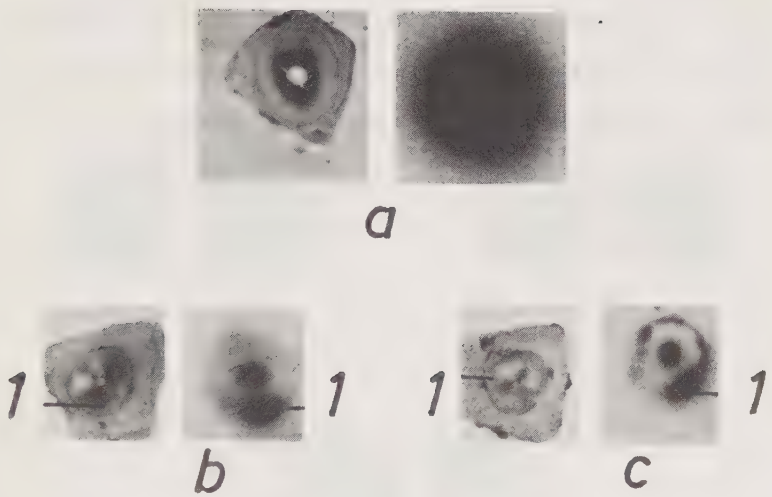


Abb. 10

Unterer Eckzahn im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal (vgl. Text, S. 38).

Bei den Aufnahmen 10 b und c sind Merkkanäle getroffen (1), durch die das Merfen(R) bis zur Dentin-Zement-Grenze vorgedrungen ist. Der Schatten im Wurzelkanal reicht auch noch etwas ins Wurzeldentin. Der Randschatten ist wieder wie bei Abb. 5 zu erklären. Abb. 10 a veranschaulicht, wie hoch die Radioaktivität in vielen Schliffen war, die nicht ausgewertet werden konnten und deshalb in dieser Arbeit nicht vorgestellt wurden.

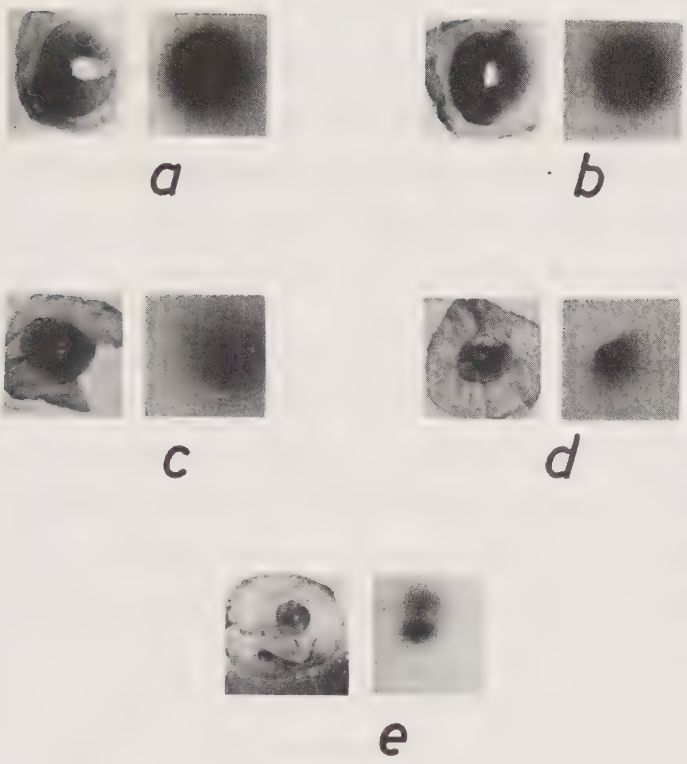


Abb. 11

Oberer Prämolar im Querschnitt. Anordnung der Bilder nach der Schnittfolge von koronal nach apikal. Diese Abbildung ist ein Beispiel für einen Mißerfolg der Autoradiographie und veranschaulicht deutlich die Schwierigkeiten der Kontaktmethode, auswertbare Bilder zu bekommen.

6. Ergebnisse des quantitativen Nachweises von Merfen(R)

Die folgenden Tabellen geben die Versuchsergebnisse wieder. Sie geben Art und Länge des Zahnes an sowie, ob er quer oder längs geschliffen wurde. Die Zahnnummern der Tabellen A, 1 und B, 1 entsprechen denen der Tabellen A und B.

Die Tabellen veranschaulichen ferner die Zugehörigkeit des Zahnes zu den sechs Versuchsreihen, die Standardwerte der in den einzelnen Versuchsreihen verwendeten Spülflüssigkeiten (Impulse/Minute) und deren Zusammensetzung. Schließlich wird die mittlere Impulsrate jedes Zahnes dargestellt (vgl. Meßtabellen am Schluß der Arbeit).

Die Gesamtimpulsrate (vgl. Anmerkung der Tabelle A, 1, S. 42) im Standard der sechs Versuchsreihen schwankte zwischen 4 235 000Imp./min und 6 200 000 Imp./min, die Zahnradioaktivität zwischen 3 679 und 35 604 Imp./min. Von der Spülflüssigkeit II wurde etwa doppelt so viel radioaktive Substanz adsorbiert wie von der Spülflüssigkeit I (vgl. S. 16).

A

Zahn Nr.	Zahn	Kiefer	Länge in mm	Zahn-schnitt
I	CANINUS	UK	21	längs
II	INCISIVUS	OK	22	quer
III	CANINUS	OK	23	quer
IV	CANINUS	UK	20	quer
V	CANINUS	OK	22	quer
VI	PRÄMOLAR	OK	21	quer
VII	INCISIVUS	OK	20	quer
VIII	INCISIVUS	OK	21	quer
IX	PRÄMOLAR	OK	23	quer
X	PRÄMOLAR	OK	21	längs
XI	INCISIVUS	UK	17	längs
XII	CANINUS	UK	21	längs
XIII	CANINUS	OK	27	längs
XIV	PRÄMOLAR	OK	20	längs
XV	INCISIVUS	OK	23	längs

Abb. 12

Die Tabelle zeigt die Zahnnummer, die Zahnart, die Länge des Zahnes und den angefertigten Schnitt.

A, 1:

Versuchs-Reihe	Zahn Nr.	Gesamtimpulsrate im Standard[x)]	Spüllösung	Zahnradioaktivität Impulse/min
I	I	5. 500.000 Imp./min	Sp. I	7496
	II			7265
	III			7108
II	IV	6.200.000 Imp./min	Sp.II	35604
	V			23341
	VI			32531
	VII			15251
	VIII			27575
	IX			22991
	X			15996
III	XI	4.235.000 Imp./min	Sp.II	9497
	XII			3679
	XIII			12803
IV	XIV	4.280.000 Imp./min	Sp. I	4173
	XV			9449

Abb. 13

Die Tabelle stellt die Versuchsreihe, die Zahnnummer, die Impulsgröße des Standards, die Zusammensetzung der Spülflüssigkeit und die mittlere Impulszahl/min der Zähne dar.

x) Zur Messung kam jeweils nur ein aliquoter Teil von 1,0 ml ^{203}Hg-Merfen$^{(R)}$-Lösung, dessen Impulsrate mit dem Gesamtvolumen multipliziert wurde.

B :

Zahn Nr.	Zahn	Kiefer	Länge in mm	Zahn-schnitt
XVI	CANINUS	OK	24	längs
XVII	PRÄMOLAR	OK	22	längs
XVIII	CANINUS	OK	24	längs
XIX	PRÄMOLAR	OK	22	quer
XX	CANINUS	OK	23	quer
XXI	INCISIVUS	OK	22	längs
XXII	CANINUS	OK	24	längs
XXIII	PRÄMOLAR	UK	21	längs
XXIV	INCISIVUS	OK	20	längs
XXV	CANINUS	UK	21	längs
XXVI	INCISIVUS	OK	22	längs
XXVII	CANINUS	OK	24	längs
XXVIII	PRÄMOLAR	UK	20	längs
XXIX	PRÄMOLAR	UK	20	längs
XXX	INCISIVUS	OK	21	längs

Abb. 14

Die Tabelle zeigt die Zahnnummern, die Art der Zähne, die Länge und die Art des Schnittes.

B, 1:

Versuchs-Reihe	Zahn Nr.	Gesamtimpulsrate im Standard x)	Spüllösung	Zahnradioaktivität Impulse/min
IV	XVI	4.280.000 Imp./min	Sp. I	9155
	XVII			3662
	XVIII			6904
	XIX			16656
	XX			5292
V	XXI	4.935.000 Imp./min	Sp. I	8757
	XXII			9235
	XXIII			7689
	XXIV			5406
	XXV			7341
VI	XXVI	5.250.000 Imp./min	Sp. I	9345
	XXVII			12067
	XXVIII			8965
	XXIX			7623
	XXX			8314

Abb. 15

Die Tabelle stellt die Zahnnummern, die Versuchsreihen, die Impulswerte der Standardlösungen, die Zusammensetzung der Flüssigkeiten und die mittlere Impulszahl jedes Zahnes dar.

x) S. Anmerkung zu Tabelle A, 1, S. 42

IV. Statistische Auswertung [x]

Die für jeden Zahn mit dem Szintillationszähler ermittelte Impulszahl ist ein Maß für die aufgenommene Menge von Spülflüssigkeit. Man kann davon ausgehen, daß ein Zahn, der 1/100 der in der Spülflüssigkeit enthaltenen Impulszahl aufgenommen hat, auch 1/100 der Spülflüssigkeit adsorbiert hat. Als Meßzahl ist daher für jeden Zahn die Größe

$$\frac{\text{aufgenommene Impulszahl}}{\text{Impulszahl der Spülflüssigkeit}}$$

zu ermitteln. Im folgenden wird dieser Quotient als "relative Impulszahl" bezeichnet und in ‰ angegeben. (0,1 % entspricht 0,05 ml Spülflüssigkeit). Das Gemisch 49 ml Merfen$^{(R)}$ + 1 ml radioaktiv markiertes Merfen$^{(R)}$ wird im folgenden als Sp. I, das Gemisch 49 ml Borwasser + 1 ml radioaktiv markiertes Merfen$^{(R)}$ als Sp. II bezeichnet (vergl. S. 17). Für die einzelnen Zähne ergibt sich folgende relative Impulszahl (‰):

x) Unter Anleitung von Herrn Diplom-Mathematiker FLACH, München, ausgearbeitet

Zahn Nr.	‰	Zahn Nr.	‰	Zahn Nr.	‰
I	1,36	XI	2,24	XXI	1,77
II	1,32	XII	0,87	XXII	1,87
III	1,29	XIII	3,03	XXIII	1,56
IV	5,74	XIV	0,98	XXIV	1,10
V	3,76	XV	2,21	XXV	1,49
VI	5,25	XVI	2,14	XXVI	1,78
VII	2,46	XVII	0,36	XXVII	2,40
VIII	4,45	XVIII	1,61	XXVIII	1,71
IX	3,71	XIX	3,89	XXIX	1,45
X	2,58	XX	1,23	XXX	1,58

Durchschnitt: $\frac{67,69}{30} = \underline{2,26}$

Für die sechs Versuchsreihen ergeben sich folgende Mittelwerte:

Mittelwerte der relativen Impulszahl (‰)

	Zahn Nr.	Sp. I	Sp. II
1. Reihe	I - III	1,32	-
2. Reihe	IV - X	-	3,99
3. Reihe	XI - XIII	-	2,05
4. Reihe	XIV - XX	1,85	-
5. Reihe	XXi - XXV	1,56	-
6. Reihe	XXVI - XXX	1,78	-
Insgesamt:		1,68 ± 0,66	3,41 ± 1,48

Die Unterschiede zwischen den Reihen 1, 4, 5 und 6 sind zufällig (maximaler Unterschied 0,53). Die Meßwerte der Reihen 2 und 3 weisen größere Unterschiede auf. Dies liegt daran, daß die Sp.-II-Werte viel stärker streuen; so schwanken die Einzelmessungen zwischen 0,87 und 5,74 ‰.

Von Sp. II ist etwa doppelt so viel adsorbiert worden wie von Sp. I. Der Unterschied zwischen 1,68 ‰ für Sp. I und 3,41 ‰ für Sp. II ist mit großer Sicherheit (P>99 %) n i c h t zufällig.

Für die Messungen der aufgenommenen Impulszahlen wurden die Wurzelkanäle durch Zerschneiden der Zähne freigelegt. Für die Messungen wurden stets alle Teile der zerschnittenen Zähne - bei den längsgeschnittenen 2 Teile, bei den quergeschnittenen 6 - 9 Teile - in den Szintillationszähler gebracht. Der durch das Schneiden entstandene Substanzverlust ist nicht erfaßt worden.

Es zeigt sich, daß die quergeschnittenen Zähne höhere Meßwerte aufweisen als die längsgeschnittenen. Diese Erscheinung ist auf die größere Schnittfläche zurückzuführen.

Mittlere relative Impulszahl (‰)

Spülmittel	Längsschnitt	Querschnitt	
I	1,62	1,87	1,68
II	2,18	4,23	3,41
Insgesamt:	1,74 ± 0,59	3,16	± 1,66

Der Unterschied zwischen 1,74 und 3,16 ‰ ist mit großer Sicherheit (P>99 %) n i c h t zufällig. Bemerkenswert ist, daß der Unterschied zwischen längs- und quergeschnittenen Zähnen bei Sp. II größer ist als bei Sp. I.

Es ist einleuchtend, daß ein langer Zahn mehr Spülflüssigkeit adsorbieren wird als ein kurzer. Die Länge der Zähne konnte bei den längsgeschnittenen direkt gemessen werden, bei den quergeschnittenen wurde sie unter Berücksichtigung des Substanzverlustes beim Schneiden rekonstruiert.

Für die Abhängigkeit der relativen Impulszahl von der Länge ergibt sich folgendes Bild:

Länge des Wurzelkanals			‰
17 mm	2,24 / 1	=	2,24
20 mm	13,44 / 6	=	2,24
21 mm	19,14 / 8	=	2,39
22 mm	13,38 / 6	=	2,23
23 mm	8,44 / 4	=	2,11
24 mm	8,02 / 4	=	2,01
27 mm	3,03 / 1	=	3,03
Insgesamt:	67,69 /30	=	2,26

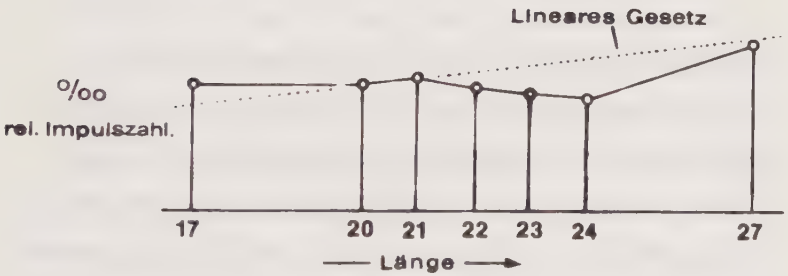


Abb. 16

Abhängigkeit zwischen relativer Impulszahl und Zahnlänge

Eine Abhängigkeit der Meßwerte, wie erwartet, ist nicht nachweisbar. Die Meßwerte für den kürzesten und den längsten Zahn weisen darauf hin, daß durchaus eine Abhängigkeit besteht; die übrigen Meßwerte liegen jedoch so dicht bei-

sammen, daß das Gefälle von anderen Einflüssen überdeckt wird. Als Fehlerquellen kommen in Betracht: verschiedene Durchmesser der Wurzelkanäle und damit verschiedene Oberflächen, Ausbuchtungen und Risse am Zahn, Seitenkanäle und Strukturverschiedenheiten. Außerdem dürfte die Kavitätenoberfläche, die ja auch Substanz aufnimmt, eine Rolle spielen. Man kann unter diesen Umständen für die vorliegende Untersuchung die Länge des Zahnes außer acht lassen.

Mittlere Zahnlänge

Sp. I: 21,3 mm ± 1,4

Sp. II: 21,9 mm ± 2,5

Es bleibt schließlich noch als Einflußgröße das Zahnvolumen oder an dessen Stelle die Zahnart. Es erscheint denkbar, daß ein Eckzahn mehr adsorbiert als ein Schneidezahn. Diese Vermutung wird bestätigt ; die Vermutung, daß ein Eckzahn mehr adsorbiert als ein Prämolar, dagegen nicht.

Relative mittlere Impulszahl ‰:

Spülmittel	Incisivus	Caninus	Prämolar
I	1,63	1,67	1,74
II	3,05	3,35	3,85

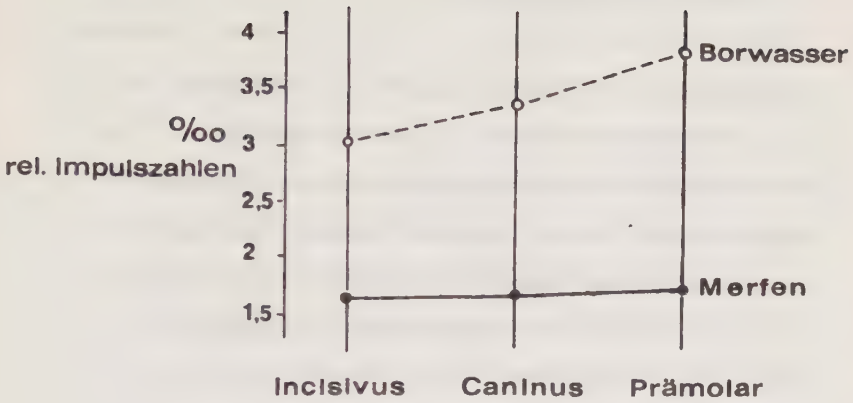


Abb. 17: Abhängigkeit der Impulszahlen von den Zahnarten bei Borwasser und Merfen(H).

Die Meßwerte liegen bei den Prämolaren deutlich höher als bei den Schneidezähnen. Der Unterschied ist bei SP. II mit 26 % sehr viel ausgeprägter als bei Sp. I mit nur 11 %. Dieses Ergebnis läßt vermuten, daß für die Adsorption der Spülflüssigkeit mehr die adsorbierende Oberfläche des Wurzelkanals und die Struktur des Zahnes eine Rolle spielen als die Länge. Die höheren Adsorptionen bei den Prämolaren beruhen wahrscheinlich darauf, daß die Kavität und das eröffnete Pulpenkavum bei den Prämolaren präperationsbedingt wesentlich größer ist als bei den Eck- und Schneidezähnen. Dort wird auch ein hoher Prozentsatz an Spülflüssigkeit adsorbiert.

V. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuchsanordnung zum Nachweis einer Spülwirkung (Kap. III, A) haben gezeigt, daß es mit Hilfe der heißen Wurzelkanalspülung nach PRADER möglich ist, mit Farbstofflösungen den Apex und Periapex eines Zahnes zu erreichen und auch in Teile des Dentins einzudringen. Die Voraussetzung dafür ist, daß intermittierend gespült wird. Das vorliegende Versuchsergebnis deckt sich also mit dem von E. POPPER.

Der Versuch, mit Hilfe einer chemischen Farbreaktion das Eindringen einer Desinfektionslösung in Dentin und Apex nachzuweisen, gelang nicht (Kap. III, B). Dazu war eine Erwärmung des Zahnes notwendig, unter deren Einfluß er sich verfärbte. Außerdem war die adsorbierte Menge zu klein für einen chemischen Farbnachweis.

Diese Vorstellung wurde durch die Radioaktivitätsmessungen (Kap. III, C) bestätigt.

Die Autoradiogramme (Kap. III, C, 5) befriedigen nicht ganz, da durch die Schnittdicke der Präparate erhebliche Unschärfen entstanden. Die Anwendung einer genaueren Methode der Autoradiographie - wie z.B. der

Strippingfilm-Methode - ist an histologische Schnitte gebunden, die eine Dicke von 2 - 15 µ nicht überschreiten dürfen.
Diese Schnittdicke wäre mit der vorhandenen Mainzer Trennschleifmaschine annäherungsweise zu erreichen gewesen. Da diese aber mit Wasserkühlung arbeitet, müßten unübersichtliche Radioaktivitätsverluste durch Auswaschung befürchtet werden. Außerdem hätten sich dabei die radioaktiven Partikel über den Zahnquerschnitt verteilt, wodurch eine Aussage über die Größe der Diffusion in den Dentinkanälchen unsicher geworden wäre.

Daher wurde die makroskopische Kontaktmethode eingesetzt, die bei Präparaten mit einer Dicke von 2 mm relativ unscharfe Autoradiogramme liefert. Eine exakte Lokalisationsangabe der radioaktiven Substanz im Zahnschliff (vgl. Kap. III, C, 5), sei es durch Überstrahlung oder sei es durch Sekundärstrahlung, war daher oft nicht möglich. Trotzdem konnte mit den Autoradiogrammen gezeigt werden, daß die erhoffte Spülwirkung eintritt, daß der apikale Bereich des Zahnes erfaßt wird und auch große Teile des Dentins durchdrungen werden.

Ob Merfen(R) durch Saug-Spül-Wirkung so tief ins Dentin eindrang oder ob dieser Effekt durch Diffusion eintrat, kann nicht exakt beantwortet werden. Wahrscheinlich ist es, daß dieser Effekt durch Diffusion von Merfen(R) zustande kam. Für diese Hypothese sprechen die Untersuchungen von E. DJERASSI und R. OWTSCHAROW (1967), die eine Diffusion von Jod nachweisen konnten.

Es konnte aber gezeigt werden, daß das Medikament in die Mark- und Seitenkanäle eindringt und daß auch die Ramifikationen des Apex erreicht und durchdrungen werden.

W. KETTERL et al. (1953) versuchten die Eindringtiefe von Merfen(R) außer mit der Autoradiographie folgendermaßen darzustellen: Sie führten Rosenbohrer steigender Größe - den Wurzelkanal als Achse benützend - in die Tiefe, in Richtung Apex, und frästen so allseitig vom Kanal ausgehend etwa 0,5 mm Dentin ab. Dieser Dentinstaub wurde aufgefangen und mit dem Geigerzähler auf seinen Radioaktivitätsgehalt geprüft. Dieser Vorgang wurde zweimal wiederholt.

Obwohl diese Methode ungenau ist und sehr viel Geschicklichkeit erfordert, gelang es ihnen doch zu beweisen, daß die Konzentration von Merfen(R) vom Wurzelkanal in Richtung Zement abnahm.

Die in unserer Arbeit durch Autoradiographie gefundenen Versuchsergebnisse decken sich mit denen von W. KETTERL et al. insofern, als sie ein Eindringen des Medikamentes in die Dentinkanälchen und weitergehend teilweise sogar bis zur Dentin-Zement-Grenze bestätigten. W. KETTERL et al. konnten aber keine Angaben darüber machen, in welcher Konzentration Merfen(R) im Zahn adsorbiert wird. Dieses Ziel ließ sich auch mit Hilfe des modernenen, erheblich empfindlicheren Szintillationszählers nur annäherungsweise erreichen.

Die statistische Auswertung ergab, daß die gemessenen Impulszahlen nur ein relatives Maß für die Konzentration und damit für die Adsorption des Spülmittels im Zahn darstellen. Dies erklärt sich durch den nicht erfaßten, beim Schleifen unvermeidlich auftretenden Substanzverlust und durch den Unterschied der Impulszahlen zwischen längs- und quergeschliffenen Zähnen. Das bedeutet also, daß eine Aussage über die absolute Konzentration des Mittels durch unsere Versuche nicht möglich ist. Nimmt man an, daß der Substanzverlust beim Schneiden ungefähr 1/3 der gesamten Intensität ausmachte,

so liegt der absolute Wert etwa bei 2 - 3 ‰ Merfen(R), die aus 50 ml einer 0,1 %igen Merfen(R)-Lösung (Sp. I) im Zahn adsorbiert werden. Das bedeutet, daß, wenn 50 mg Merfen(R) durch einen Zahn gespült werden, etwa 0,1 - 0,15 mg vom Dentin adsorbiert werden.

Die Untersuchungen haben weiter gezeigt, daß Sp. II in höherem Maße adsorbiert wurde als Sp. I. Dies ist verständlich, denn 50 ml Sp.II enthielten nur 0,5 mg radioaktives Merfen(R), während 50 ml Sp. I 49 mg nichtradioaktives und o,5 mg radioaktives Merfen(R) enthielten (vgl. Kap. III, C,1). Von Sp.I wurde also nichtradioaktives und radioaktives Merfen(R) adsorbiert. Es war daher von vornherein zu erwarten, daß das radioaktive Merfen(R) von SP. II stärker adsorbiert würde als das von Sp. I, weil hier auch noch nichtradioaktives Merfen(R) zur Adsorption kommen würde.

Die zwei Versuchsreihen mit Sp.II dienten als Vergleich für die vier Versuchsreihen mit Sp.I; denn es war bei Versuchsbeginn denkbar, daß weder eine Messung noch eine Autoradiographie möglich gewesen wäre. Immerhin zeigt der Unterschied zwischen den Versuchsreihen mit Sp. I und Sp. II, daß bei der Aufnahme von Merfen(R) in das Zahnhartgewebe vermutlich primär eine reversible Adsorption auftritt.

Eine Abhängigkeit der Meßwerte von der Zahnlänge war nicht nachzuweisen. Das beruhte darauf, daß die Pulpenkaven und die Kavitäten der einzelnen Zähne unterschiedlich groß waren und das Merfen(R) dort ebenfalls zur Adsorption kam. Diese Annahme wird dadurch erhärtet, daß die Prämolaren höhere Meßwerte aufweisen als die Eckzähne, obwohl letztere ja eine umfangreichere Wurzel besitzen.

Insgesamt haben die Versuchsergebnisse bewiesen, daß mit der heißen Kanalspülung nach PRADER eine weitgehende Durchdringung des Zahnes mit Spülflüssigkeit gewährleistet wird; das konnte mit dem Desinfektionsmittel Merfen(R) gezeigt werden. Darüber hinaus tritt eine erhebliche Adsorption schon bei Zimmertemperatur auf.

VI. Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde festgestellt, daß der therapeutische Wert der heißen Kanalspülung nach PRADER unter anderem davon abhängt, daß die Spülflüssigkeit in den Wurzelkanal eines durchspülten Zahnes eindringt, den apikalen und periapikalen Raum erreicht, das Wurzeldentin durchdringt und daß das Desinfiziens nach der Spülung in bestimmter Konzentration im Zahn zurückbleibt (vgl. Kap. I).

Mit Hilfe einer Farbstofflösung (stark verdünnte wäßrige Fuchsinlösung) konnte gezeigt werden, daß bei der heißen Kanalspülung die erhoffte Spülwirkung eintritt (vgl. Kap. III, A). Die Farbstofflösung drang in den Wurzelkanal ein, erreichte den Apex und färbte ein am Zahn befestigtes künstliches "Granulom" an. Die Fuchsinlösung erreichte mit Sicherheit das "Granulom", wenn intermittierend gespült wurde, während bei kontinuierlichem Spülen dieser Effekt nicht immer und vor allem nicht in dieser Intensität erzielt werden konnte. Im Auflichtmikroskop war außerdem ein Eindringen der Farbstofflösung in die Dentinkanälchen festzustellen. Die Lage des Zahnes, das heißt, ob im UK oder OK gespült wurde, war für die Versuchsergebnisse bedeutungslos.

Da der Farbstoff in Apex, Periapex und Dentinkanälchen des Zahnes eingedrungen war, konnte damit gerechnet werden,

daß sich ein bei der Spülung verwendetes Desinfektionsmittel ebenso verhalten würde. Die von PRADER angegebenen Desinfektionslösungen sind farblos; deshalb mußte man versuchen, sie durch chemische Farbreaktionen nachzuweisen (vgl. Kap. III, B). Während Desogen(R) durch eine einfache Farbreaktion nicht nachzuweisen war, gelang dies mit Merfen(R) (Zyma-Blaes AG, München) durch einen spezifischen Quecksilbernachweis. Die Schwierigkeit bestand darin, daß das Quecksilber erst aus dem positiv geladenen Hg-phenyl-Radikal abgespalten werden mußte, ehe es nachgewiesen werden konnte. Diese Reaktion gelang aber nur im Reagenzglas; in dem mit Merfen(R) durchspülten Zahnschnitt versagte dieser Nachweis, da die Konzentration des Stoffes zu gering war.

Da der chemische Nachweis erfolglos verlief, blieb nur die Möglichkeit, das Desinfiziens durch radioaktive Markierung sichtbar zu machen. Für die Versuche wurde radioaktiv markiertes ^{203}Hg-phenyl-borat (Merfen(R)) verwendet, das aus radioaktiv markiertem ^{203}Hg-phenyl-acetat (Fa. Buchler & Co, Braunschweig) durch chemische Umwandlung selbst hergestellt werden mußte (vgl. Kap. III, C, 1).

Durch die Verwendung von radioaktiv markiertem Merfen(R) bei den Versuchen bestand die Möglichkeit, das Desinfiziens sowohl qualitativ durch Autoradiographie als auch quantitativ durch Messungen mit dem Szintillationszähler nach-

zuweisen. Deshalb wurden die Zähne nach der Spülung geschnitten, im Szintillationszähler auf ihren radioaktiven Gehalt überprüft und die Schnitte zur Autoradiographie weiterverwendet (vgl. Kap. III, C, 4). Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

1. Mit Hilfe der heißen Kanalspülung nach PRADER konnte das Eindringen eines radioaktiv markierten Desinfiziens (Merfen$^{(R)}$, Zyma-Blaes) in Dentin und Wurzelkanal von Zähnen qualitativ autoradiographisch nachgewiesen werden. Ebenfalls konnte gezeigt werden, daß das Desinfiziens bis in den apikalen Bereich eines Zahnes mit durchgängigem Wurzelkanal vordringt und daß Mark- und Seitenkanäle therapeutisch erfaßt werden.

2. Die Konzentration von ^{203}Hg-phenyl-borat in kalt durchspülten Dentin- und Wurzelkanälen konnte nur ungefähr angegeben werden. Der absolute Konzentrationswert dürfte etwa um ein Drittel höher liegen als die gemessenen Werte. Der Mittelwert der "relativen Impulszahl" betrug 1,68 $\pm$ 0,66 ‰ der zur Kanalspülung eingesetzten Radioaktivität. Somit dürfte der absolute Mittelwert der Adsorption nach der Spülung mit 50 ml einer 0,1%igen Merfen$^{(R)}$-Lösung etwa 100 bis 125 µg Merfen$^{(R)}$ pro Zahl betragen. Der Rest wird wieder abgesaugt.

Durch diese Arbeit wurde bewiesen, daß die heiße Kanalspülung nach PRADER die physikalischen Bedingungen erfüllt, um bei der Gangränbehandlung therapeutisch wirksam zu sein. Inwieweit diese Methode klinisch wirksam ist, muß noch untersucht werden.

VII. Literaturverzeichnis

CASTAGNOLA, L. — Untersuchungen über die abtötende Wirkung einiger neuer Medikamente auf die Gangränbakterien des Wurzelkanals mittels Iontophorese. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 56, 437 (1946)

DJERASSI, E. OWTSCHAROW, R. — Radioisotope Untersuchungen der Dentin-Zement-Grenze im Tierexperiment. Zahnärztl.Prax. 8, 3 (1967)

GRUMBACH, A. — Desogen, ein neues Desinfektionsmittel aus der Reihe der quartären Ammoniumverbindungen. Schweiz.Med.Wschr. 71, 1520 (1941)

KETTERL, W., KIERSE, H. und TISCHLER, R. — Experimentelle Untersuchungen über die Eindringtiefe von Merfen in Wurzelkanal und Dentin. Dtsch.zahnärztl.Z. 23, 1284 (1953)

MÜLLER? O. — Dentin- und Granulomsterilisation. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 56, 909 (1942)

POPPER, E. — Zur Anwendung der Saugspülung nach Seidner. Quintess. zahnärztl.Lit. 56, 51 (1965)

PRADER, F. — Diagnose und Therapie des infizierten Wurzelkanals. Benno Schwabe, Basel 1949, S. 171-177.

PRADER, F. — Die heiße Wurzelkanalspülung. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 57, 383 (1947)

PRADER, F. — Beitrag zum Merfenproblem. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 56, 83 (1946)

SCHMEISER, K. — Radioaktive Isotope - ihre Herstellung und Anwendung. Springer, Berlin 1957.

SHANN, C. Experimentelle Untersuchungen über die bakterizide und fettlösende Wirkung einiger neuer Desinfektionsmittel auf die Gangrän der Pulpa und das Wurzeldentin.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk.56,715 (1945)

VIII. Meßtabellen

Die Impulsraten und die daraus errechneten Mittelwerte sind jeweils gruppenweise aufgeführt. Da die Phenylquecksilberborat-Konzentration bei den Zähnen Nr. IV bis XIII fünfzigmal niedriger war als bei den übrigen Zähnen, lag die adsorbierte Radioaktivität in diesen Gruppen etwa doppelt so hoch wie bei den vier übrigen Gruppen.

MESSTABELLE I

ZAHN	MESSUNGEN		ZAHN	MESSUNGEN	
I	7477	7495	II	7269	7265
	7508	7483		7248	7243
	7515	7521		7255	7291
	7488	7479		7283	7272
	7507	7491		7287	7237
III	7116	7111	IV	35573	35593
	7098	7097		35620	35607
	7083	7121		35651	35578
	7106	7122		35632	35612
	7105	7123		35581	35591
V	23345	23297	VI	32512	32507
	23312	23309		32532	32499
	23364	23337		32578	32568
	23389	23372		32541	32526
	23302	23378		32567	32482
VII	15251	15242	VIII	27540	27521
	15239	15235		27585	27594
	15221	15275		27594	27604
	15267	15282		27612	27545
	15285	15214		27537	27620
IX	22975	23019	X	15992	15961
	23031	23041		15974	15964
	23014	22964		16023	16015
	22974	22972		15999	16008
	22965	22953		16021	16005

MITTELWERTE:

I: 7496,4 II: 7265,0
III: 7108,2 IV: 35603,8
V: 23340,5 VI: 27575,2
VII: 15251,1 VIII: 27575,2
IX: 22990,8 X: 15996,2

MESSTABELLE II

ZAHN	MESSUNGEN		ZAHN	MESSUNGEN	
XI	9483	9492	XII	3675	3694
	9475	9471		3662	3652
	9516	9512		3689	3673
	9502	9495		3684	3690
	9507	9520		3702	3665
XIII	12812	12864	XIV	4173	4182
	12841	12826		4165	4169
	12803	12815		4189	4198
	12801	12854		4155	4153
	12869	12822		4192	4156
XV	9435	9447	XVI	9144	9175
	9423	9459		9156	9167
	9481	9463		9122	9142
	9472	9442		9129	9181
	9425	9443		9163	9174
XVII	3632	3691	XVIII	16642	16651
	3651	3666		16611	16693
	3675	3664		16672	16633
	3643	3637		16684	16648
	3684	3673		16621	16693
XIX	6915	6921	XX	5238	5321
	6923	6912		5263	5282
	6884	6883		5307	5277
	6901	6892		5299	5290
	6897	6894		5308	5293

MITTELWERTE:

XI:	9497,3	XII:	3678,6
XIII:	12830,7	XIV:	4173,2
XV:	9448,8	XVI:	9155,3
XVII:	3661,6	XVIII:	6904,0
XIX:	16655,8	XX:	5292,3

MESSTABELLE III

ZAHN	MESSUNGEN		ZAHN	MESSUNGEN	
XXI	8759	8784	XXII	9212	9200
	8743	8732		9278	9242
	8732	8760		9229	9237
	8756	8741		9267	9239
	8779	8781		9251	9208
XXIII	7703	7714	XXIV	5423	5421
	7691	7700		5414	5432
	7663	7683		5387	5378
	7680	7674		5395	5390
	7658	7723		5394	5430
XXV	7312	7368	XXVI	9373	9367
	7353	7350		9372	9315
	7331	7321		9331	9342
	7342	7313		9350	9336
	7367	7357		9321	9346
XXVI	12612	12597	XXVIII	8943	8985
	12569	12628		8967	8979
	12575	12631		8952	8947
	12621	12613		8954	8965
	12593	12632		8973	8982
XXIX	7601	7625	XXX	8308	8297
	7598	7612		8324	8299
	7613	7632		8318	8320
	7641	7628		8329	8316
	7630	7612		8304	8325

MITTELWERTE:

XXI:	8756,7	XXII:	9235,2
XXIII:	7688,9	XXVI:	9345,3
XXV:	7341,4	XXIV:	5406,4
XXVII:	12607,1	XXVIII:	8964,7
XXIX:	7622,2	XXX:	8314,0

Zum Schluß der Arbeit danke ich herzlich Herrn Privatdozent Dr. A. Rost für die freundliche Überlassung des Themas und Herrn Prof. Dr. Dr. P. Riethe für seine Mühen bei der Korrektur.

Ebenso bin ich Herrn Prof. Dr. E. Kallee zu Dank verpflichtet für die großzügige Überlassung eines Arbeitsplatzes in der Isotopenabteilung der Medizinischen Universitätsklinik und für seine Anregung und Hilfe bei den Versuchen. Herrn Privatdozent Dr. Möhrle, Pharmazeutisch-chemisches Institut, und Herrn Diplomchemiker Dr.med. Grimminger, Medizinische Universitätsklinik, möchte ich für die Anleitung zur chemischen Umwandlung des radioaktiven Materials und Herrn Diplommathematiker Flach, München, für seine Anregungen zur statistischen Auswertung danken.

Zuletzt möchte ich aber nicht unterlassen, der Firma Zyma-Blaes AG, München, besonders auch Herrn Dr. Kerschensteiner, zu danken, die das Zustandekommen der Arbeit ermöglichte.

Lebenslauf

Ich, Hans-Peter Zimmerer, wurde am 11.3.1944 als Sohn des Zahnarztes Dr. Anselm Zimmerer und seiner Ehefrau Ingeborg, geb. Erhardt, in Wasseralfingen/Württ. geboren.

In Wasseralfingen besuchte ich 3 1/2 Jahre die Grundschule. Acht Jahre meiner Gymnasialzeit verbrachte ich am Schubert-Gymnasium in Aalen und ein Jahr am Parler-Gymnasium in Schwäbisch-Gmünd, wo ich im März 1963 das Abitur bestand. Im Sommersemester 1963 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität Tübingen, das ich nach 10 Semestern am 17.7.1968 mit dem Staatsexamen abschloß. Im Sommersemester 1968 begann ich das Studium der Chemie. Zur Zeit verwalte ich eine wissenschaftliche Assistentenstelle in der Poliklinik und chirurgischen Abteilung der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Tübingen.